

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND****Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 10 2004 006 558.6

**Anmeldetag:** 10. Februar 2004

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Ermittlung der benötigten Aktorenergie  
für die verschiedenen Einspritzarten eines Aktors  
einer Brennkraftmaschine

**IPC:** F 02 D 41/20

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 25. Januar 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

## Beschreibung

Verfahren zur Ermittlung der benötigten Aktorenergie für die verschiedenen Einspritzarten eines Aktors einer Brennkraftmaschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der benötigten Aktorenergie für die verschiedenen Einspritzarten eines Aktors einer Brennkraftmaschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bei einem solchen Verfahren sollen Unterschiede in der Einspritzmenge zwischen den Zylindern erkannt und gegebenenfalls adaptiert werden. Gerade für das Erreichen kleiner Einspritzmengen, insbesondere von Voreinspritzmengen, die im Bereich von wenigen Milligramm liegen, ist eine Ermittlung der Aktorenergie entscheidend für die Einhaltung der Abgasemissionen. Bei der Gleichstellung von Injektoren mittels des Aktorsignals müssen stationäre Betriebspunkte in Abhängigkeit vom Einspritzdruck mehrere Sekunden lang (3 bis 4 Sekunden) gehalten werden, um die Aktorenergie der Haupteinspritzung ermitteln zu können. Bei einer aktiven Regelung wird die Zeit zwischen der Ansteuerung des Injektors und des Aktorsignals aller Injektoren auf einen im Kennfeld gespeicherten Wert eingestellt. Da zur sicheren Auswertung eines Aktorsignals größere Einspritzmengen erforderlich sind, kann zur Ermittlung der Aktorenergie nur die Haupteinspritzung herangezogen werden. Diese Energie für die Haupteinspritzung dient als Basis für die Energie der Vor- und Nacheinspritzung.

Es hat sich jedoch herausgestellt, dass die Voreinspritzung lokale Druckschwankungen in der Injektorzulaufleitung erzeugt. Diese lokalen Druckschwankungen können nicht vom

Druckmesser im Rail erfasst werden, so dass der Regelung ein konstanter Druck vorgetäuscht wird. Diese lokalen Druckschwankungen haben einen wesentlichen Einfluss auf das Öffnungsverhalten des Injektors und somit auf alle nachfolgenden Einspritzungen. Somit zeigt das Aktorsignal der Haupteinspritzung eine deutliche Abhängigkeit vom Separationswinkel zwischen der Vor- und Haupteinspritzung. Erfolgt die Haupteinspritzung beispielsweise bei einem "Druckmaximum", so wird aufgrund des lokal höheren Drucks die Nadel dieses Injektors schneller geöffnet. Dies hat zur Folge, dass das Aktorsignal zu einem früheren Zeitpunkt erzeugt wird. Dies führt dazu, dass die Regelung die Aktorenergie für den entsprechenden Injektor reduziert, um die Zeit zwischen dem Beginn der Ansteuerung und dem Erzeugen des Aktorsignals auf den im Kennfeld hinterlegten Wert einzustellen versucht. Zwar ist die Energieeinstellung für die Haupteinspritzung korrekt, jedoch erhält die davon abhängige Voreinspritzung zu wenig Energie.

Somit liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren vorzustellen, das es ermöglicht, zuverlässig die Aktorenergie für Vor- und Haupteinspritzung zu bestimmen.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Gegenstand der abhängigen Ansprüche betreffen vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Ermittlung der benötigten Aktorenergie für die verschiedenen Einspritzarten eines Aktors einer Brennkraftmaschine wird der Aktor derart mit einem Ansteuerungssignal beaufschlagt, dass dieser ein Aktorsignal erzeugt. Dabei wird ein Einspritzparameter der Brennkraftmaschine derart eingestellt, dass das Aktorsignal zu ei-

nem bestimmten hinterlegten Zeitpunkt erzeugt wird. Zunächst wird die im Verbrennungszyklus erste Einspritzart abgeschaltet, um dessen Aktorenergie aus der zweiten Einspritzart zu bestimmen. Dies ist insbesondere vorteilhaft, da die von der ersten Einspritzart erzeugten lokalen Druckschwankungen eliminiert werden. Im Verbrennungstakt einer Brennkraftmaschine, werden insbesondere bei Common-Rail-Dieselmotoren mehrere Einspritzungen vorgenommen. Zur Reduzierung von Abgasemissionen und Reduzierung der Geräuschemissionen wird zuerst eine Voreinspritzung vorgenommen, die durch eine kleine Einspritzmenge die Verbrennung auslöst. Daran anschließend wird dem Prozess die restliche Dieselmenge während der Haupteinspritzung zugeführt.

Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, dass die erste Einspritzart wieder eingeschaltet wird, nachdem dessen Aktorenergie bestimmt wurde. Nun kann die für die zweite Einspritzungsart nötige Aktorenergie bestimmt werden. Die von der ersten Einspritzart ausgelösten lokalen Druckschwankungen bewirken, dass die Nadeln der verschiedenen Injektoren unterschiedlich schnell öffnen und dementsprechend unterschiedliche Aktorenergien benötigen.

Als sehr vorteilhaft hat es sich erwiesen, das Ansteuersignal zum ersten Zeitpunkt (Einspritzbeginn) an den einen Injektor anzulegen und dass dabei das Aktorsignal nach einer bestimmten Zeit bei einem zweiten Zeitpunkt erzeugt wird. So ist bei einer Brennkraftmaschine mit mehreren Injektoren die Differenz der beiden Zeitpunkte (Einspritzbeginn und Aktorsignal) eines Injektors gleich groß wie die jeweiligen Differenz der beiden Zeitpunkte eines anderen Injektors. Mit dieser Maßnahme lassen sich alle Injektoren gleichstellen, das heißt, dass

die Injektoren für jede Einspritzart die gleiche Kraftstoffmenge einspritzen.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den übrigen abhängigen Ansprüchen angegeben.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die schematische Zeichnung beispielhaft erläutert. Dabei zeigen:

Figur 1 ein Ablaufdiagramm der jeweiligen Aktorenergien der einzelnen Einspritzarten,

Figur 2A den zeitlichen Verlauf des Ansteuersignals,

Figur 2B den zeitlichen Verlauf der lokalen Druckschwankung in der Injektorzulaufleitung,

Figur 2C den zeitlichen Verlauf des Nadelhubs.

Während des Startes wird in Schritt 1 die Funktion im Steuergerät der Brennkraftmaschine initialisiert. Dabei werden abgespeicherte Adaptionswerte geladen. Nachdem die Initialisierung erfolgt ist, wird in Schritt 2 abgewartet, bis bevorzugte Betriebsbedingungen erreicht sind. Zur weiteren Regelung ist es notwendig, dass sich die Brennkraftmaschine in einem stationären Betriebspunkt befindet. So ist beispielsweise die Last, die Drehzahl, die Kühlwassertemperatur konstant. Nachdem die Aktivierungsbedingungen erfüllt sind, wird die Regelung in Schritt 3 aktiviert. In Schritt 4 werden die Einspritzparameter  $i$  eingestellt. Dazu gehören der entsprechende Einspritzdruck und der entsprechende Einspritzzeitpunkt eines entsprechenden Injektors. Nach dem Einstellen des Satzes wird in Schritt 5 die Voreinspritzung zylinderselektiv abge-

schaltet. Dabei wird die Ansteuerenergie der Haupteinspritzung derart verändert, um die Fertigungstoleranzen der Injektoren zu eliminieren. Für den jeweiligen Injektor wird dabei die für die Voreinspritzung benötigte Aktorenergie bestimmt. Nach dieser Regelung ist die Voreinspritzung jedes Injektors identisch. Bei der Beschreibung zu Figur 2 wird darauf näher eingegangen. Nach dieser Regelung wird die Voreinspritzung in Schritt 6 wiedereingeschaltet, um die Ansteuerenergie für die Haupteinspritzung bestimmen zu können (Schritt 7). Die Ansteuerparameter werden für die jeweiligen Einspritzparameter als Satz  $i$  abgespeichert. Sind die Aktorenergien bzw. die Ansteuerparameter für die verschiedenen Betriebspunkte der Brennkraftmaschine bestimmt worden, so endet die Adaption in Schritt 8.

Die Figur 2 zeigt anhand eines Injektors die Vorgänge beziehungsweise Fehler, die bei lokalen Druckschwankungen auftreten können. Die Zeitachse der Figuren der 2A bis 2C sind identisch.

In Figur 2A wird das Ansteuersignal des Aktors gezeigt. Zwischen den Zeitpunkten  $t_1$ ,  $t_2$  wird ein erstes Ansteuersignal angelegt, das eine Voreinspritzung auslöst. Ab dem Zeitpunkt  $t_3$  bis zum Zeitpunkt  $t_6$  liegt ein zweites Ansteuerungssignal am Aktor an, das die Haupteinspritzung auslöst. Alternativ dazu kann ein weiteres Ansteuerungssignal von  $t'_3$  bis  $t'_6$  angelegt werden, das einen größeren Separationswinkel aufweist als das zweite Ansteuerungssignal. Der Separationswinkel zwischen Voreinspritzung und Haupteinspritzung wird durch die Zeitdifferenz von  $t_3$  (beziehungsweise  $t'_3$ ) und  $t_2$  gebildet. Zur besseren Darstellbarkeit wurden die beiden Ansteuerungssignale der Haupteinspritzung übereinander abgebildet. Beide Haupteinspritzungen haben jedoch die gleiche Amplitude. Wie bereits oben erwähnt erzeugt die Voreinspritzung eine lokale

Druckschwankung, die in Figur 2B gezeigt ist. Beim Start der Voreinspritzung zum Zeitpunkt  $t_1$  reduziert sich der lokale Druck kurzfristig.

Im folgenden werden die beiden Extremfälle beschrieben.

Erster Fall: Der Ansteuerungsbeginn der Haupteinspritzung 10 erfolgt zum Zeitpunkt  $t_3$ . Wie in Figur 2B zu erkennen ist liegt in diesem Fall ein Druckmaximum  $p_1$  (von ca. 1050 Bar) an. Dieser erhöhte Druck bewirkt, dass die Nadel des Injektors schneller öffnet. Das zugehörige Nadelhubsignal ist in Figur 2C als Kurve  $n_1$  gezeigt. Nach einem kurzen hydraulischen Verzug beginnt sich die Nadel zu heben. Im Zeitpunkt  $t_4$  hat die Nadel ihren maximalen Hub  $h_{\max}$  erreicht. Dabei fällt die Spannung  $U_1$  des Ansteuerungssignals 10 auf die Spannung  $U_2$  ab. Dieses Aktorsignal  $S_1$  wird zu früh erzeugt, wobei die Regelung dies als Fertigungstoleranz interpretiert, das heißt, dass dieser Injektor zum Heben der Nadel weniger Energie benötigt statt der tatsächlich erforderlichen Energie. Aufgrund dieser Regelung erhält die Voreinspritzung ein Ansteuerungssignal, das den zu kleinen Nadelhub  $h_1$  erzeugt (siehe Figur 2C).

Zweiter Fall: der Ansteuerungsbeginn der Haupteinspritzung 11 erfolgt zum Zeitpunkt  $t'_3$ . Bei diesem Zeitpunkt liegt ein lokales Druckminimum an  $p_2$  (ca. 950 bar). In diesem Fall öffnet sich die Nadel des Injektors langsamer als im obigen Beispiel. Dies ist in Figur 2C zu erkennen, da die Steigung des Nadelhubs  $n_2$  flacher als die von  $n_1$  ist. Die Nadel wird nach einem kurzen hydraulischen Verzug geöffnet bis zu ihrem maximalen Anschlag bei  $t'_4$ . Zu diesem Zeitpunkt  $t'_2$  wird das Aktorsignal  $S_2$  erzeugt. Da die Differenz zwischen dem Zeitpunkt  $t'_4$  und  $t_3$  größer ist als die Differenz zwischen  $t_4$  und  $t_3$

ist, interpretiert die Regelung, dass dieser Injektor zum Heben der Nadel mehr Energie benötigt. Aufgrund dieser Regelung wird ein Ansteuerungssignal für die Voreinspritzung erzeugt, das den Nadelhub  $h_2$  bewirkt. Dieser Injektor benötigt jedoch nicht einen Nadelhub von  $h_1$  oder  $h_2$  sondern einen idealen Nadelhub von  $h_{ideal}$ , wie in Figur 2C gezeigt ist. Das ideale Ansteuerungssignal für die Voreinspritzung wird dadurch bestimmt, indem das Ansteuerungssignal für die Voreinspritzung abgeschaltet wird, so dass keine lokalen Druckschwankungen erzeugt werden. In diesem Beispiel, beträgt der "normale" Druck 1000 bar.

Die Figur 2 zeigt die starke Abhängigkeit des Separationswinkels zwischen Vor- und Haupteinspritzung, das mit dem erfindungsgemäßen Verfahren vermieden werden kann. Durch das Verfahren der separaten Bestimmung der Aktorenergie für die Vor- und Haupteinspritzung können Einspritzmengeschwankungen, welche durch lokale Druckschwankungen im System verursacht werden, fast vollständig kompensiert werden.



## Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung der benötigten Aktorenergien für die verschiedenen Einspritzarten eines Aktors einer Brennkraftmaschine, wobei der Aktor derart mit einem Ansteuersignal beaufschlagt wird, dass dieser ein Aktorsignal ( $S_1$ ,  $S_2$ ) erzeugt, wobei ein Einspritzparameter der Brennkraftmaschine derart eingestellt wird, dass das Aktorsignal zum bestimmten hinterlegten Zeitpunkt ( $t_4$ ,  $t_4'$ ) erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die im Verbrennungszyklus erste Einspritzart abgeschaltet wird, um dessen Aktorenergie aus der zweiten Einspritzart zu bestimmen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Einspritzart wieder eingeschaltet wird, um für die zweite Einspritzart nötige Aktorenergie zu bestimmen.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei der letzten Einspritzart um eine Voreinspritzung, und bei der zweiten Einspritzart, um eine Haupteinspritzung handelt.
4. Verfahren nach mindestens einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Brennkraftmaschine in einem stationären Betriebszustand befindet.
5. Verfahren nach mindestens einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nach jedem Regelungsvorgang der Einspritzdruck der Injektoren geändert wird.

6. Verfahren nach mindestens einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung des Aktorsignals die Haupteinspritzung verändert wird.
7. Verfahren nach mindestens einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Ansteuersignal zum ersten Zeitpunkt ( $t_3$ ) an den einen Injektor angelegt wird, und dass das Aktorsignal ( $S_1$ ) nach einer bestimmten Zeit ( $t_4, t_3$ ) beim zweiten Zeitpunkt ( $t_4$ ) erzeugt wird.
8. Verfahren nach mindestens einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Brennkraftmaschine mit mehreren Injektoren die Differenz der beiden Zeitpunkte ( $t_3, t_4$ ) eines Injektors gleichgroß ist wie die jeweilige Differenz der beiden Zeitpunkte eines anderen Injektors.
9. Verfahren nach mindestens einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einer der folgenden Größen als Einspritzparameter ausgewählt wird: Ladezeit des Ansteuersignals, Amplitude des Ansteuersignals, Ansteuerdauer und die Aktorenergie.

## Zusammenfassung

Verfahren zur Ermittlung der benötigten Aktorenergie für die verschiedenen Einspritzarten eines Aktors einer Brennkraftmaschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der benötigten Aktorenergie für die verschiedenen Einspritzarten eines Aktors einer Brennkraftmaschine, wobei der Aktor derart mit einem Ansteuersignal beaufschlagt wird, das diese ein Aktorsignal erzeugt, wobei ein Einspritzparameter der Brennkraftmaschine derart eingestellt wird, dass das Aktorsignal zu einem bestimmten hinterlegten Zeitpunkt erzeugt wird. Dabei wird zuerst die im Verbrennungszyklus erste Einspritzart abgeschaltet, um dessen Aktorenergie aus der zweiten Aktorenergie aus der zweiten Einspritzart zu bestimmen.

Figur 2

2004100100

1/2

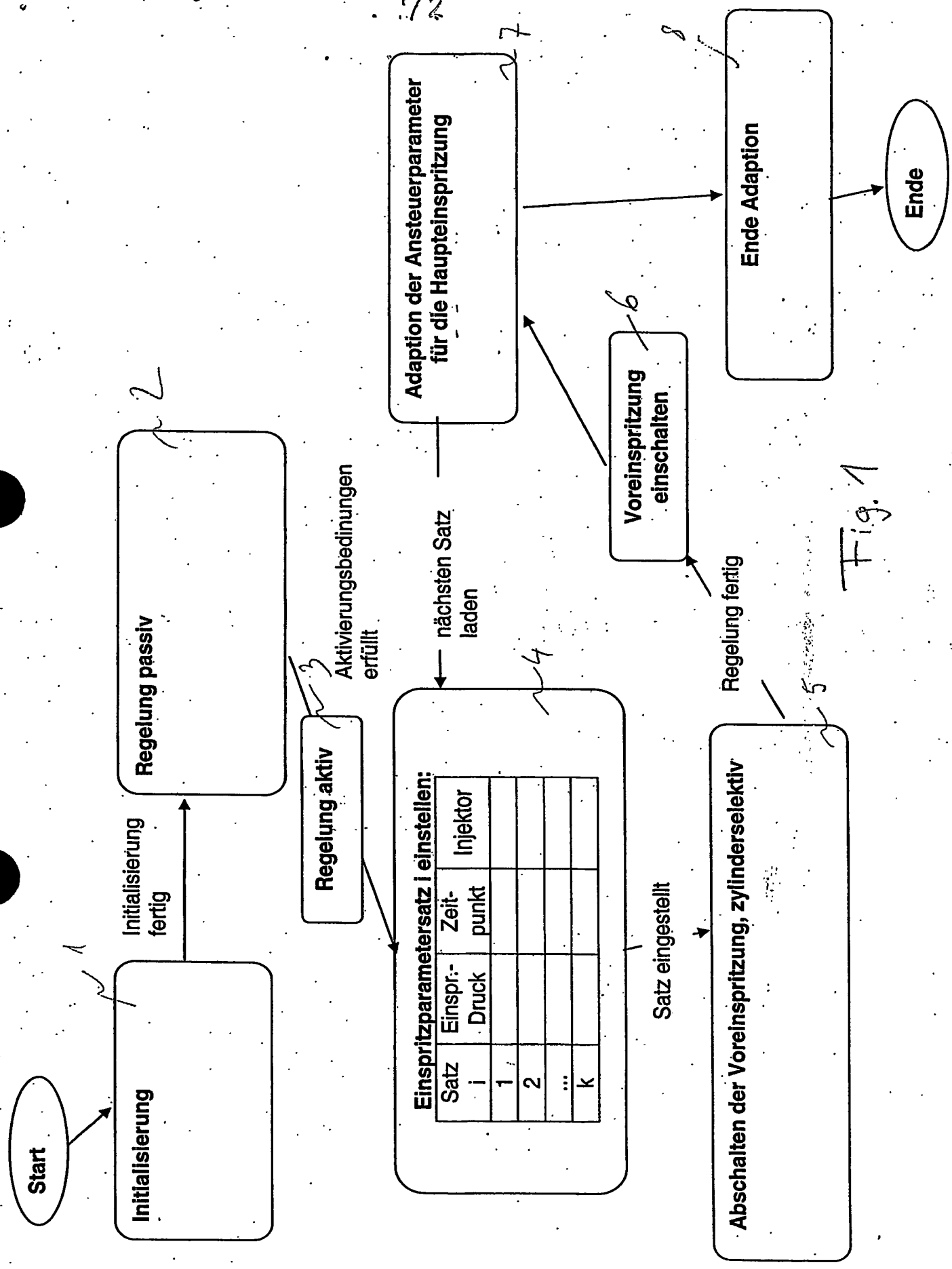


Fig. 1

2/2. . .

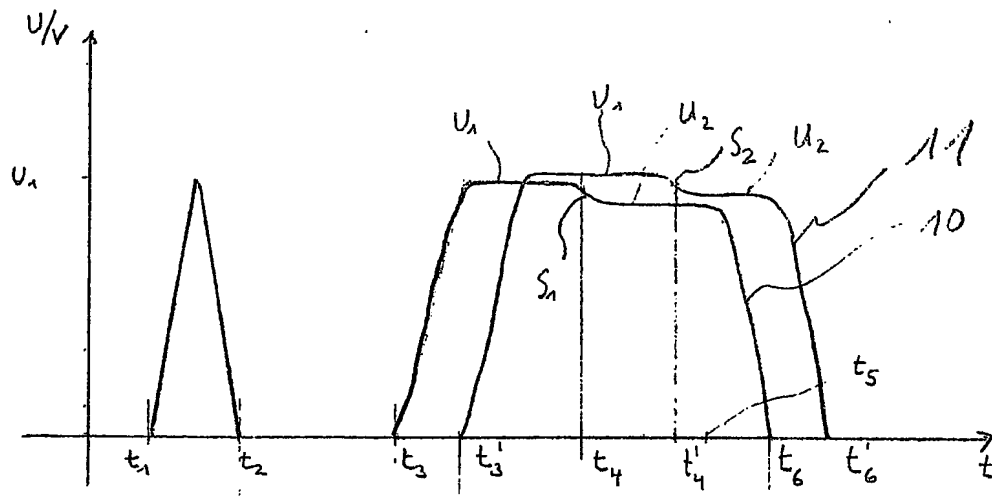


Fig. 2A

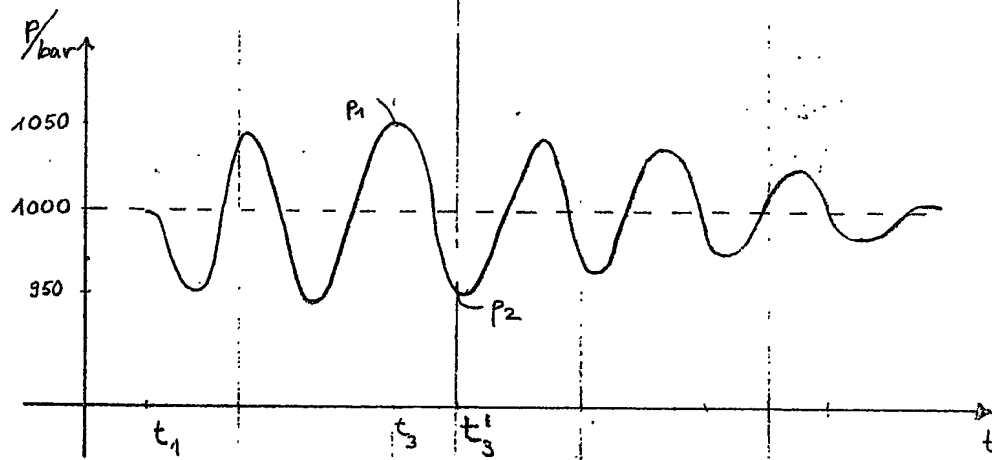


Fig. 2B

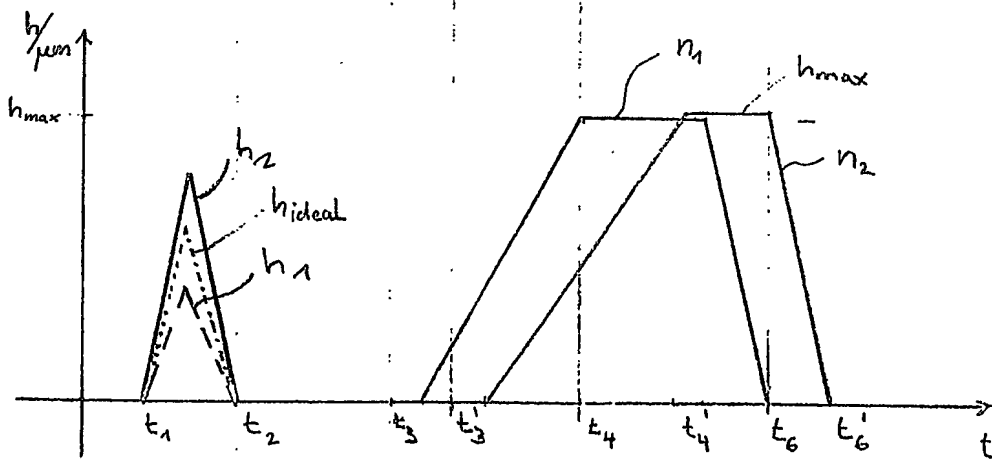


Fig. 2C

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP04/053615

International filing date: 20 December 2004 (20.12.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 10 2004 006 558.6  
Filing date: 10 February 2004 (10.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 15 February 2005 (15.02.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse